中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）43(3)：336～343（1994）

香菇太空包之培養及其熱傳模式之研究[1]

賴建洲　梁連勝　周廷弘[2]

摘要：本研究旨在探討香菇太空包之最佳培養環境、菌絲生長之狀況，並推導太空包熱傳模式以提供出菇處理與子實體培養所需之環控策略。菌種在 11°C 以下時幾乎停止活動，在低相對濕度（60%）與不同日夜溫差之環境下來培養香菇太空包，可知以 30/25°C 之日夜溫爲最佳，其菌絲生長速率爲每日 0.4～0.5%cm，利用太空包熱傳模式，可預測太空包體各點之溫度，提供環控之依據，使香菇之栽培能達到強勢出菇，提高品質與產能。

關鍵詞：香菇、太空包、環控、熱傳。

香菇品種依其生長環境之溫度特性，可分爲高溫、中溫、低溫三種品系。本省由於地處亞熱帶，故栽培品種以前兩者爲主。栽培方式可分爲段木栽培與木屑栽培二種[(2)]，後者俗稱太空包栽培。採段木栽培方式者每接種一次可採收三年，而採太空包栽培方式者每接種一次經三至四個月培養期後，每隔三至四個星期可採收一次，依菌包生長狀況一批菌包可採收四至八次。

目前臺灣香菇（乾菇）之年總產量約3,500公噸，其中段木栽培者720公噸，太空包栽培者2,775公噸。栽培地區主要分佈在宜蘭、新竹、臺中、彰化、南投五個縣，而以南投縣爲首（2,041公噸，佔2/3強），因此本省香菇以太空包栽培爲主（民國八十一年栽培包數爲13,255萬包）[(3)]。

而太空包之生產流程依序爲木削堆積、配料混合製包、殺菌、接種、養包、出菇、收穫、乾燥、選別及貯藏等作業。就現行太空包香菇栽培之作業方式而言，菌包之培養（養包）與出菇之處理大多在簡易設施內進行，較先進者裝配有噴霧機構及風扇來加濕與通風以避免太空包體發生脫水或過熱之現象。採簡易設施栽培之業者，遇天氣異常時，往往無法掌握香菇之生長情況，導致出菇率不良、不出菇，甚至太空包腐爛等現象。因此配合栽培需求來改良養包及出菇之設施環境，使環境之控制能夠機械化與自動化是必需且迫切的。在機械化、自動化之環控設施內，雖然可確保養包與出菇環境不受大氣影響，但成本之提高是必然的，因此採行立體栽培方式以增加單位面積產能有其必要。

自動化栽培之環控系統，其對環境因子之控制（溫度、濕度）是靠環控策略之設定而自動執行。因此針對菌包培養、出菇處理與子實體培養等三種不同培養階段之最適溫度與濕度也不同，依據前人研究可知香菇菌絲之最佳生長溫度爲 25°C（如圖 1[(4)]），相對濕度爲70%[(1)]。子實體之產生則需環境低溫之刺激（約 15°C ），其日夜溫差最好在 10°C 以上[(1)]。另子實體傘徑及子實體高度生長速率與環境溫度間之關係則如（圖 2[(5)]）所示，溫度愈高者菌傘張開與子實體之生長速率愈快，而在子實體形成時所需之相對濕度最好維持在85%至95%。

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1735 號。
2. 本所農業工程系助理研究、研究員兼系主任、助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

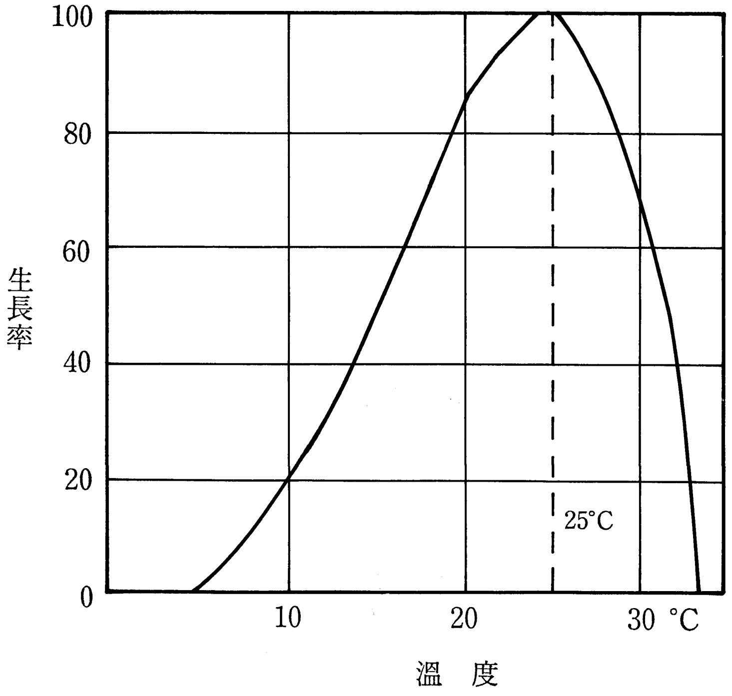

圖 1. 香菇菌絲的生長溫度

Fig. 1. Growth temperature of Shiitake

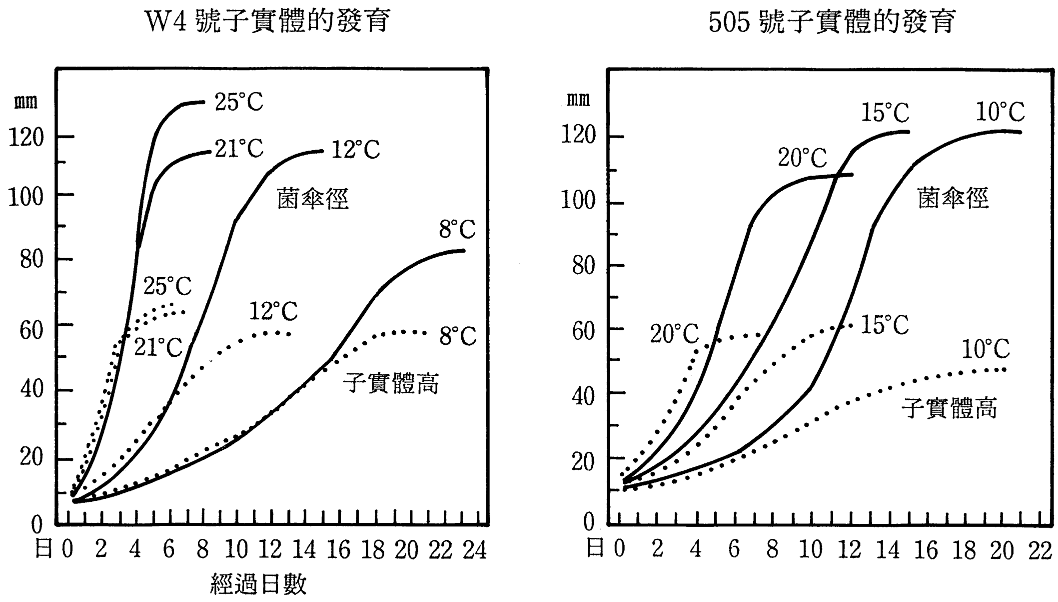

圖 2. 溫度對香菇菌傘與子實體高度之影響

Fig. 2. The influence of temperature on Shiit

材料與方法

一、試驗材料：

1. 本試驗之香菇菌種為1927。
2. 以堆積置放三個月之木屑製成太空包一批以供試驗。

二、試驗設備：

1. 恆溫恆濕控制箱

本設備型號 K. SON-8608 MICRO CONTROLLER，具溫濕度顯示及控制設定面板，溫度適用範圍為 0C～199.9°C，相對濕度適用範圍為10%～99%，其使用乾濕球溫度來換算相對濕度。

2. 資料記錄器 (Data Logger)

以 PT-100 為乾濕球溫度感應器，並將之與澳洲生產的 MACRO DATA LOGGER 連接，以便感應記錄太空包體內之溫度及其外邊環境之乾濕球溫度。

3. 磅秤：以精度為 1 公克之電子磅秤測量太空包重量於培養菌絲過程中之變化。

三、試驗方法：

1. 不同溫度對太空包菌絲生長速率及重量之影響。

由前人研究雖已知菌絲生長之最佳溫度為 25°C，但若在整個菌絲培養過程保持恆溫不變，原基（外部突起）便不易形成，也就是菌絲生長旺盛但不出菇，必需給予冷熱刺激，方能提高原基形成率，故以20/15、25/20、30/25及30/15等四種日夜溫差之環境來培養菌絲。另外為降低雜菌之感染，相對濕度控制在60%左右，同時在太空包中心與包外各置 PT－100 溫度感應器，且將其與 Data Logger 連線，每隔30分鐘自動記錄，並觀察記錄菌絲之生長狀況及太空包體重量之變化。

2. 太空包體溫度場（Temperature Field）之建立

由於太空包體為由薄層塑膠布套裝木屑成圓柱形體，假設其為一次維（One Dimensional）之穩態（Steady State）徑向熱流（Heat flow），且是一熱傳特性均勻（Homogenious）之介質，則可以傅立葉定理[6]定出熱流方程式

$$q=-kA\left(\frac{dt}{dr}\right)$$

or

$$q=-2\pi kRL\left(\frac{dt}{dr}\right) \quad \cdots\cdots (1)$$

q：為熱流 (W)

k：為熱傳導係數 (W/m°C)

A：為柱體表面積 (m^2)

L：為柱體長度 (m)

R：為柱體半徑 (m)

邊界條件為 $t=t_1$ 當 $r=r_1$

$t=t_0$ 當 $r=r_0$

則可得式(1)解為

$$q=2\pi kL\frac{(t_1-t_0)}{\ln(r_0/r_1)} \quad \cdots\cdots (2)$$

此爲太空包體熱傳方程式，由上可知其熱阻（Thermal resistance）

$$R_{th}=\frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} \quad \cdots\cdots(3)$$

若將太空包體內之生物熱源也考慮在內，則可以卜易生方程式（Poisson equation）表示如式(4)

$$\nabla^2 t+Q/k=0 \quad \cdots\cdots(4)$$

t　爲溫度

k　爲熱傳導係數（W/m°C）

Q　爲生物熱源（W/m^3）

因假設爲一次維穩態熱傳，故可以柱體半徑 r 爲變數而導出式(5)

$$\nabla^2 t=\frac{1}{r}d\ \left(\frac{r\ (\frac{dt}{dr})}{dr}\right)$$

$$\frac{d^2t}{dr^2}+\frac{1}{r}\ (\frac{dt}{dr})\ =-\frac{Q}{k} \quad \cdots\cdots(5)$$

在式(5)中若其邊界條件爲已知，則此方程式是可解的，且可據以建立其溫度梯度（Temperature gradient），若將式(5)二邊各乘以 r，則可得(6)式

$$r\frac{d^2t}{dr^2}+\frac{dt}{dr}=-\frac{Qr}{k} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$r\frac{d^2t}{dr^2}+\frac{dt}{dr}=-\frac{d\ (rdt/dr)}{dr}$$

積分式(6)可得式(7)

$$r\frac{dt}{dr}=-\frac{Qr^2}{2k}+C_1 \quad \cdots\cdots(7)$$

積分式(7)可得式(8)

$$t=-\frac{Qr^2}{4k}+C_1\ln r+C_2 \quad \cdots\cdots(8)$$

假設熱導係數 k 爲木屑、塑膠布之串連熱導係數，經由測量圓柱體內外溫度，可得邊界條件如下

外部溫度爲 t_o

外環半徑爲 $r_o=R$

中心溫度爲 t_c

內環半徑爲 $r_i=0$

另外，由於在柱體中心之溫度方程式必需是連續的，因此可得另一邊界條件

$dt/dr=0$　　　當 $r=0$

代入式(7)可得

$c_1=0$

將 $c_1=0$ 與 $r=R$ 值代入(8)式可得

$$c_2=t_o+\frac{Qr^2}{4k}$$

，將 c_1 與 c_2 代入(8)式可得(9)式，

$$t=t_o+\frac{Q\ (R^2-r^2)}{4k} \quad \cdots\cdots(9)$$

此式即爲太空包溫度場（Temperature Field）之表示式。利用此方程式可計算太空包體內任一點之溫度，而其熱流損失與生物熱之產生不等時即會造成太空包體溫度之改變。

結果與討論

一、溫度對香菇菌絲之影響

香菇太空包經置於四種不同控制環境下培養，其菌絲生長情況如（圖 3）所示，共有四組數據，其中環境之日夜溫設定爲30/25、25/20及30/15°C 三者爲最佳，初期20日之生長速率爲 0.5cm/日，後期則較緩慢，生長速率爲 0.4cm/日，菌絲可於二個月內佈滿菌包，而 20/15°C 日夜溫之培養環境則以 0.3cm/日之生長速率緩緩成長，共需要約80日，菌絲方能佈滿。

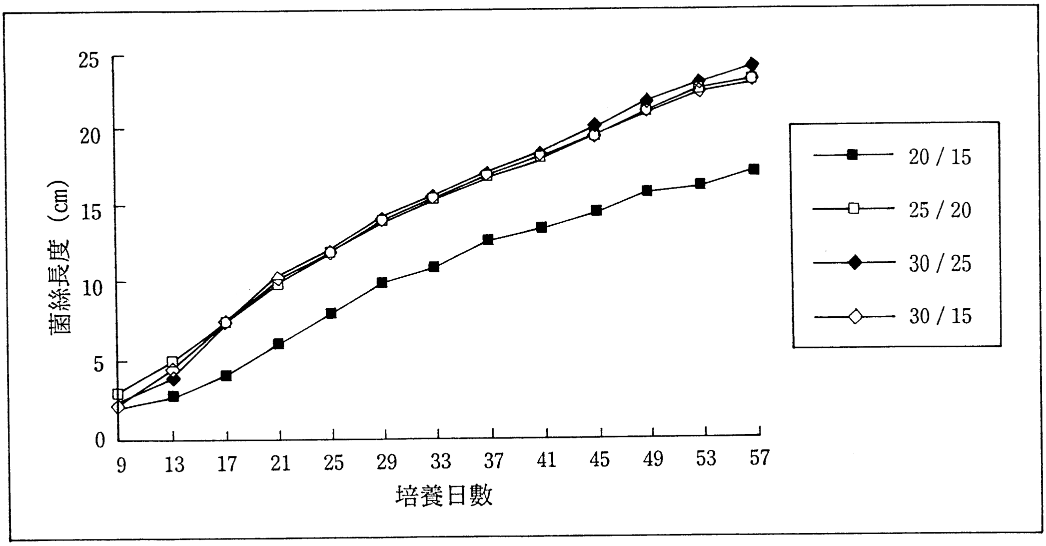

圖 3. 不同日夜溫度時對菌絲生長之影響

Fig. 3. The influence of temperature on Shiitake Germ's growth

二、溫度對太空包內生物熱之影響

當熱傳呈穩態時，在不同之環境溫度下，太空包中心與外部之溫度差也不同，此差值即爲菌絲因活動所產生之生物熱（Q）之大小。由（表 1）與（圖 4）可知，隨著溫度之上升，此差值亦加大，而在 11°C 時，差值幾乎爲零，這代表菌絲活動在 11°C 時，幾乎停止生長，而隨著溫度之升高，其活動力增大，故生長速率亦隨之提高。

表 1. 熱穩態時太空包中心與外部溫度

Table 1. Temperature at center and outside in thermal steady state

Outside	25.3	20.5	15.9	11
Center	26.0	21.0	16.2	11
Difference	0.7	0.5	0.3	0

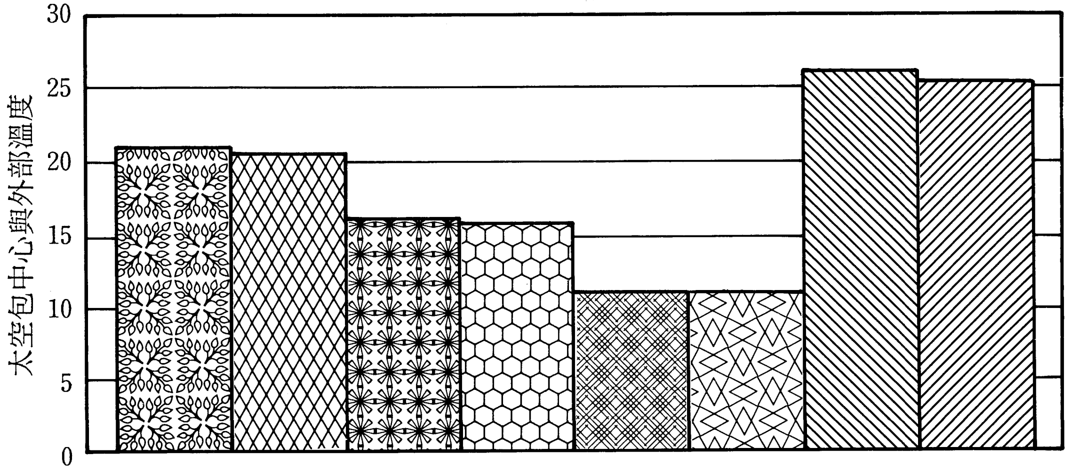

圖 4. 四組不同溫度熱穩態時太空包中心與外部溫度之比較

Fig. 4. Four center and outside temperature in thermal steady state

因此當菌絲大量繁殖時，將會產生相當可觀之熱能，若養包場通風不良或置放太多菌包，卻無通風降溫裝置，將會使包溫提高，若超過菌種之高溫忍受限度，會停止生長甚至死亡。

另外在試驗的同時，觀察傳統菇舍堆放之菌包，發現同樣材料、程序製造之菌包，在自然界堆放時，其受雜菌感染之機率高達20%，且菌絲生長速度較不穩定，隨大氣溫度而變。但在控制室下之菌包卻完全不受雜菌感染，究其原因除了控制室較乾淨外，低相對濕度的環境與適當之通風亦是一大主因。

可知在適當之溫度、濕度與通風下，不但可確保菌包之存活率，並可使菌絲維持高速生長，縮短培養期，提早採收。傳統上，爲了提高培養菌包之存活率，製包時往往避開夏季之高溫與多濕，造成冬季年關需求量大時，香菇缺貨之現象，因此若能善用環控技術，則能克服不適之大氣環境，使香菇之生產不但全年不斷，尚能提高產能與品質。

三、熱傳模式之分析

當熱傳呈穩態時，在不同之環境溫度下，太空包中心與外部之溫度差也不同，由式(9)可知，此差值可代表菌絲生物熱（Q）之大小。由（表1）與（圖4）可知其爲溫度之函數，可以式(10)表示

$$\triangle t = 0.04t - 0.312 \quad \cdots\cdots (10)$$

$\triangle t$：太空包中心與外部之溫度差

t：外部溫度

由式(9)與式(10)知生物熱與外部溫度之關係式(11)

$$Q = (0.04t - 0.312) \cdot 4 \cdot k/R^2 \quad \cdots\cdots (11)$$

引用文獻

1. 丁湖廣。1988。香菇速生高產栽培新技術。8—12頁。金盾出版社。北京。
2. 農委會。1983。香菇木屑塑膠包栽培。農民淺談說二二五A。行政院農委會。
3. 臺灣農業年報。1993。102—103頁。臺灣省政府農林廳。

4. シイタケ栽培技術經營。昭和53年。 9 頁。財團法人家。光協會。東京。
5. 圖解キノコの栽培百科。昭和56年。4—5頁。誠文堂新光社。東京。
6. J.P. HOLMAN. 1976. Heat Transfer. pp25—35. McGraw-Hill, inc . U.S.A.
7. Louis D.Albright. 1990. Environment Control for Animals and lants. PP.49—58. A.S.A.E.Michgan.

A Study on Shiitake Germ's Culture and Heat Transfer Model of Plastic Bag Culture[1]

Chien-Chou Lai, Lien-Sheng Liang and Tyng-Horng Chou[2]

Summary

The purpose of this study is to find the best day/night temperature, germ's growth rate and to develop a heat transfer model for the environmental control of Shiitake's plastic bag culture. There is no germ's action when the temp. is lower than 11°C. Under 30/25 °C day/night temperature the germ's growth rate is 0.4—0.5cm per day.

Key words : Shiitake, Plastic Bag Culture, Enviromental Control, Heat Transfer.

---

1. Contribution No. 1735 from Taiwan Agriculture Reasearch Institute.
2. Respectively, Assistant, Senior Engineer and Research Assistant, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.